

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### A. Beton

Beton adalah bahan bangunan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus yang diikat dengan menggunakan air dan semen, seringkali ditambahkan *admixture* atau *additive* bila diperlukan. DPU-LPMB memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolis yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat (SNI 2847:2013, 2013)

Beton merupakan material bahan bangunan yang paling umum digunakan. Dalam konstruksi, beton memiliki peranan sangat penting. Kekuatan dari struktur beton menentukan umur suatu bangunan. Selain menjadi struktur utama, beton memiliki sifat plastis yang memungkinkan untuk dicetak sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Beton memiliki kekuatan tekan yang tinggi dan tidak ada penurunan.

Beton secara umum adalah campuran bahan bangunan berupa agregat kasar dan agregat halus kemudian direkatkan oleh semen bercampur air. Volume beton sebanyak 70% ditempati agregat. (Tjokrodinuljo, K., 2007)

Menurut Mulyono (2005), beton mempunyai beberapa kelebihan yaitu cenderung mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan konstruksi, mampu memikul beban yang berat, tahan terhadap temperatur yang tinggi dan biaya perawatan yang murah. Kekurangan beton adalah beton yang

sudah dibentuk sulit untuk diubah, pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi, dan beton dianggap tidak mampu untuk menahan gaya tarik sehingga perlu ditambahkan baja tulangan sebagai penahan gaya tarik.

Menurut Bahar (2005), Saat ini terdapat beberapa jenis beton yang dapat ditemui. Jenis-jenis beton tersebut digunakan berdasarkan fungsinya. Uraian jenis-jenis beton dan fungsinya yaitu:

1. Beton ringan.

Beton ringan memiliki berat jenis kurang dari  $1.900 \text{ kg/m}^3$ . Beton ringan digunakan untuk elemen non-struktural. Beton ringan dibuat dengan cara membuat gelembung udara dalam adukan semen dan menggunakan agregat ringan (tanah liat bakar/batu apung) atau pembuatan beton non-pasir.

2. Beton normal.

Beton normal memiliki berat jenis  $2.200 - 2.500 \text{ kg/m}^3$ . Beton normal digunakan hampir pada setiap elemen struktur bangunan.

3. Beton berat.

Beton berat memiliki berat jenis lebih dari  $2.500 \text{ kg/m}^3$ . Beton berat digunakan untuk struktur tertentu, seperti struktur yang harus tahan terhadap radiasi atom.

#### 4. Beton jenis lain.

Beton jenis lain merupakan beton yang digunakan untuk struktur yang memiliki persyaratan khusus, seperti: beton massa, ferrosemen, beton serat, beton siklop, beton hampa, beton ekspos, dll.

### **B. Sifat-Sifat Beton**

Dalam konstruksi, beton tidak harus memiliki semua sifat-sifat beton, dikarenakan sifat-sifat tersebut ditinjau dari kegunaan dari beton tersebut. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat-sifat beton antara lain adalah perbandingan campuran beton, cara mencetak beton, cara memadatkan, dan cara merawat beton. Beberapa sifat umum yang dimiliki oleh beton adalah:

#### 1. Kemudahan Pengerjaan (Kelecekan/ *Workability*)

Tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) berkaitan serta dengan tingkat kelecekan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan beton, maka makin mudah untuk dikerjakan. Untuk mengukur tingkat kelecekan adukan beton, maka dilakukan pengujian slump (*slump test*) menggunakan alat Kerucut Abrahams. Nilai *slump* pada umumnya akan meningkat sebanding dengan kadar air yang ada dalam campuran beton segar dan terbanding terbalik dengan kuat tekan beton. Beton dengan nilai *slump*  $< 15$  mm mungkin tidak cukup plastis dan beton dengan nilai *slump*  $> 230$  mm mungkin tidak cukup kohesif (SNI 1972:2008, 2008).

Menurut Bahar (2005), Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi kelecakan/*workability* beton segar adalah:

- a. Jumlah air yang dipakai. Semakin banyak air, maka beton semakin mudah dikerjakan.
- b. Gradasi campuran agregat kasar dan agregat halus.
- c. Bentuk butiran agregat dan tekstur permukaan agregat yang bulat.
- d. Ukuran maksimum kerikil yang dipakai.

## 2. Pemisahan Kerikil (*Segregasi*)

Pada dasarnya, *segregasi* adalah proses terjadinya penurunan agregat kasar ke bagian bawah beton segar, atau terpisahnya agregat kasar dari campuran karena cara penuangan dan pemadatan yang tidak baik.

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan segregasi antara lain adalah:

- a. Campuran kekurangan air atau kelebihan air,
- b. Kurangnya jumlah agregat halus,
- c. Ukuran agregat yang lebih dari 25 mm.

## 3. Pemisahan Air (*Bleeding*)

*Bleeding* adalah peristiwa pemisahan naiknya air kepermukaan setelah dilakukan pemadatan. Naiknya air disertai dengan membawa semen dan butiran pasir halus, yang kemudian membuat lapisan yang disebut *laitance*. Lapisan ini akan menjadi penghalang rekatan antara beton di bawahnya dan lapisan beton atasnya (Firdausia, 2018).

Peristiwa ini sering terjadi pada campuran yang terlalu banyak air, dimana beton yang memiliki kadar air yang terlalu tinggi akan membuat beton memiliki aliran air. Air yang naik ini membawa butiran dan pasir halus. *Bleeding* sering terjadi setelah pencetakan beton dilakukan terlihat dengan permukaan beton penuh dengan air.

#### 4. Kuat Tekan

Kekuatan beton terutama dipengaruhi oleh banyaknya air dan semen yang digunakan atau tergantung pada faktor air semen. Nilai kuat tekan beton semakin meningkat sejalan dengan peningkatan umurnya. Beton sudah memiliki kekuatan maksimum pada umur 28 hari. Nilai kuat beton diukur dengan membuat benda uji berbentuk silinder. Pembacaan kuat tekan pada benda uji silinder. Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton antara lain:

- a. Faktor air semen,
- b. Umur beton,
- c. Sifat agregat,
- d. Jenis *admixture*,
- e. Perawatan.

Menurut ACI 214R-11, menjelaskan bahwa besarnya variasi kekuatan contoh uji beton tergantung pada mutu material, pembuatan dan kontrol dalam pengujian. Perbedaan kekuatan dapat ditemukan dua penyebab utama yang berbeda, seperti ditunjukkan pada tabel 1, yaitu:

**Tabel 1.** Penyebab-Penyebab Utama Variasi Kekuatan

<b>Variasi dalam Perilaku Beton</b>	<b>Ketidaksesuaian dalam Metode Pengujian</b>
Perubahan dalam rasio air semen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kontrol air yang jelek</li> <li>• Variasi yang sangat besar dari kelembaban dalam agregat</li> <li>• Perubahan sifat</li> </ul>	Prosedur pengambilan benda uji yang tidak tepat
Variasi dalam kebutuhan air: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ukuran butir agregat, penyerapan, bentuk partikel</li> <li>• Perilaku semen dan bshsn pencampuran</li> <li>• Waktu antar dan temperatur</li> </ul>	Variasi yang disebabkan oleh Teknik pembuatan. Pengangkatan dan pemeliharaan silinder yang baru dibuat, kualitas cetakan yang jelek.
Variasi pada karekteristik dan bahanpenyusun: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Agregat</li> <li>• Semen</li> <li>• Pozzolan</li> <li>• Bahan campur</li> </ul>	Perubahan dalam pemelahaaraan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variasi suhu</li> <li>• Kelembaban yang bervariasi</li> <li>• Penundaan membawa silinder kedalam laboratorium</li> </ul>
Variasi dalam pengangjktan, penempatan dan pepadatan	Prosedur pengujian yang kurang bail: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Capping</i> silinder</li> <li>• Pengujian tekan</li> </ul>

(sumber: ACI 214R-11)

Evaluasi kuat tekan beton dapat dilakukan dengan menggunakan nilai standar deviasi atau angka variasi. Berikut persamaan untuk menghitung nilai standar deviasi dan angka variasi sebagai berikut:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1)$$

$$V = \frac{s}{\bar{X}} \times 100 \quad (2)$$

Dimana:

S = standar deviasi

X = Kuat tekan beton (MPa)

$\bar{X}$  = Kuat tekan rata-rata (MPa)

V = angka variasi

N = Jumlah benda

#### 5. Tahan Lama (*Durability*)

*Durability* adalah ketahanan beton menghadapi segala kondisi yang direncanakan, tanpa mengalami kerusakan (*deteriorate*) selama jangka waktu layannya (*service ability*).

### C. Semen

Semen merupakan bahan pengikat disebabkan semen merupakan bahan hidrolis yang apabila bertemu dengan air akan bereaksi. Perekat hidraolik dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari bahan utama silikat-silikat kalsium dan bahan tambahan batu gypsum dimana senyawa-senyawa tersebut dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru bersifat perekat pada batuan. Semen dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

#### 1. Semen Non-hidrolik

Semen non-hidrolik adalah semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras didalam air, akan tetapi dapat mengeras diudara. Contoh dari

semen non-hidrolik adalah kapur. Kapur merupakan bahan utama perekat pada waktu lampau.

Jenis kapur yang baik adalah kapur putih, yaitu kapur yang mengandung kalsium oksida yang tinggi ketika masih berbentuk kapur tohor dan akan mengandung banyak kalsium hidroksida ketika telah berhubungan dengan air. Kapur didapatkan dengan cara membakar batu kapur atau karbonat Bersama bahan pengotornya, yaitu magnesium, silika, besi, alkali, alumina, dan belerang.

## 2. Semen Hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras didalam air dengan setabil. Semen hidrolik memiliki sifat dapat mengeras bila dicampur air, tidak larut dalam air, dan dapat mengeras walau didalam air. Contoh semen hidrolik antara lain adalah kapur hidrolik, semen *pozzolan*, semen *Portland* terak tanur tinggi, semen alumina, dan semen ekspansif.

### a. Semen *Portland*

Menurut SNI 15-2049-2004 (2004), semen *portland* merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen *portland* terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain.



Berikut beberapa perbedaan jenis dan kegunaan semen *Portland*:

- 1) Jenis I, yaitu semen *Portland* untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- 2) Jenis II, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- 3) Jenis III, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- 4) Jenis IV, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- 5) Jenis V, yaitu semen *Portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

b. Semen *Portland Pozzolan*

Menurut SNI 15-0302-2004 (2004), semen *portland pozolan* merupakan semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen *portland* dengan *pozzolan* halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen *portland* dan *pozzolan* bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen *portland* dengan bubuk *pozzolan*, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar *pozzolan* 6 % sampai dengan 40 % massa semen *portland pozzolan*. *Pozzolan* adalah bahan yang mengandung silika

atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen.

Berikut beberapa perbedaan jenis dan kegunaan semen *portland pozzolan*:

- 1) Jenis IP-U, yaitu semen *portland pozzolan* yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan.
- 2) Jenis IP-K, yaitu semen *portland pozzolan* yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
- 3) Jenis P-U, yaitu semen *portland pozzolan* yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi
- 4) Jenis P-K, yaitu semen *portland pozzolan* yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi rendah.

Persyaratan kimia dan fisika semen *portland pozzolan* jenis IP-U dan IP-K harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

**Tabel 2.** Syarat Kimia (jenis IP-U dan IP-K)

No.	Jenis uji	satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1	MgO	%	maks. 6,00	maks. 6,00
2	SO <sub>3</sub>	%	maks. 4,00	maks. 4,00
3	Hilang pijar	%	maks. 5,00	maks. 5,00

(sumber: SNI 15-0302-2004)

**Tabel 3.** Syarat fisika (jenis IP-U dan IP-K)

No.	Jenis uji	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1	Kehalusan dengan alat blaine	m <sup>2</sup> /kg	min. 280	min. 280
2	Waktu pengikatan dengan jarum vikat			
	- Pengikatan awal	Menit	min. 45	min. 45
	- Pengikatan akhir	Jam	maks. 7	maks. 7
3	Kekekalan dengan autoclave			
	- Pemuai	%	maks. 0,80	maks. 0,80
	- Penyusutan	%	maks. 0,20	maks. 0,20
4	Kuat tekan			
	- umur 3 hari	kg/cm <sup>2</sup>	min. 125	min. 110
	- umur 7 hari	kg/cm <sup>2</sup>	min. 200	min. 165
	- umur 28 hari	kg/cm <sup>2</sup>	min. 250	min. 205
5	Panas hidrasi			
	- umur 7 hari	kal/g	-	maks. 70
	- umur 28 hari	kal/g	-	maks. 80
6	Kandungan udara dari mortar	% volume	maks. 12	maks. 12

Sumber : SNI 15-0302-2004

**Tabel 4.** Syarat Kimia (jenis P-U dan P-K)

No.	Jenis uji	satuan	Persyaratan	
			P-U	P-K
1	MgO	%	maks. 6,00	maks. 6,00
2	SO <sub>3</sub>	%	maks. 4,00	maks. 4,00
3	Hilang pijar	%	maks. 5,00	maks. 5,00

Sumber: SNI 15-0302-2004

**Tabel 5.** Syarat fisika (jenis P-U dan P-K)

No.	Jenis uji	satuan	Persyaratan	
			P-U	P-K
1	Kehalusan dengan alat blaine	m <sup>2</sup> /kg	min. 280	min. 280
2	Waktu pengikatan dengan jarum vikat			
	- Pengikatan awal	menit	min. 45	min. 45
	- Pengikatan akhir	Jam	maks. 7	maks. 7
3	Kekekalan dengan autoclave			
	- Pemuai	%	maks. 0,80	maks. 0,80
	- Penyusutan	%	maks. 0,20	maks. 0,20
4	Kuat tekan			
	- umur 3 hari	kg/cm <sup>2</sup>	-	-
	- umur 7 hari	kg/cm <sup>2</sup>	min. 115	min. 90
	- umur 28 hari	kg/cm <sup>2</sup>	min. 215	min. 175
5	Panas hidrasi			
	- umur 7 hari	kal/g	-	maks. 60
	- umur 28 hari	kal/g	-	maks. 70
6	Kandungan udara dari mortar	% volume	maks. 12	maks. 22

(sumber: SNI 15-0302-2004)

c. Semen *Portland Composite*

Menurut SNI 15-7064-2004 (2004), semen *portland composite* merupakan semen hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan antara terak semen *portland* dan *gypsum* dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen *Portland* dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahana anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), poolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari massa semen *portland composite*. Semen *portland composite* digunakan untuk konstruksi umum seperti pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti bahan pratecak, beton pracetak, pannel beton, bata beton (*paving block*) dan sebagainya.

**Tabel 6.** Syarat Uji Kimia Semen *Portland Composite*

No	Uraian	Persyaratan
1	SO <sub>3</sub>	Maks, 4,0 %

(sumber: SNI 25-7064-2004)

**Tabel 7.** Syarat Uji Fisika Semen *Portland Composite*

No	Uraian	Satuan	Persyaratan
1	Kehalusan dengan alat blaine	m <sup>2</sup> kg	min. 280
2	Kekekalan bentuk dengan autoclase:		
	- Pemuaiian	%	maks. 0,80
	- Penyusutan	%	maks. 0,20
3	Waktu pengikatan dengan alat vicat:		
	- Pengikatan awal	menit	min. 45

**Tabel 7.** (Lanjutan)

No	Uraian	Satuan	Persyaratan
	- Pengikatan akhir	menit	maks. 375
4	Kuat tekan		
	- Umur 3 hari	kg/m <sup>2</sup>	min. 125
	- Umur 7 hari	kg/m <sup>2</sup>	min. 200
	- Umur 28 hari	kg/m <sup>2</sup>	min. 250
5	Pengikata semu:		
	- Penetrasi akhir	%	min. 50
6	Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks. 12

(sumber: SNI 25-7064-2004)

#### **D. Agregat**

Menurut ASTM (1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa yang berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen.

Menurut SNI 2847-2013 (2013), agregat merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-fumace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis. Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi. Komposisi agregat tersebut berkisar 60%-70% dari berat campuran beton.

##### **1. Agregat Kasar**

Menurut ASTM C33 (1982), agregat kasar adalah agregat yang tertahan dari ayakan 4,75 mm. Syarat-syarat agregat kasar sebagai berikut:

- a. Agregat kasar harus terdiri butiran keras dan tidak berpori.

- b. Bersifat kekal, artinya tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- c. Modulus halus butir agregat kasar antara 5-7,1 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 %, apabila kadar lumpur melampaui 1% agregat kasar harus di cuci.
- e. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.

**Tabel 8.** Batas Gradasi Agregat

<b>Lubang Ayakan ASTM C33</b>	<b>Lolos Ayakan (%)</b>
37,50 mm	100
25,00 mm	90 – 100
19,00 mm	40 – 85
12,50 mm	10 – 40
9,50 mm	0 – 15
4,75 mm	0 – 5

(sumber: ASTM C33)

## 2. Agregat Halus

Menurut ASTM C33 1982, agregat halus adalah agregat yang lolos dari ayakan 4,75 mm. Syarat-syarat agregat halus sebagai berikut:

- a) Tidak mengandung lumpur lebih dari 5 %.
- b) Modulus kelengkapannya harus tidak kurang dari 2,3 atau lebih dari 3,1.
- c) Tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- d) Tidak mengandung zat organik yang terlalu banyak.

- e) Khusus untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, agregat halus harus tidak reaktif terhadap alkali.
- f) Agregat halus dari laut/pantai boleh dipakai asal dengan petunjuk Lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

Berikut tabel gradasi agregat halus berdasarkan ASTM C33:

**Tabel 9.** Batas Gradasi Agregat Halus

<b>Ukuran Saringan ASTM</b>	<b>Persentasi Berat yang Lolos pada Tiap Saringan</b>
9,5 mm	100
4,75 mm	95-100
2,36 mm	80-100
1,18 mm	50-85
0,600 mm	25-60
0,300 mm	5-30
0,150 mm	0-10

(sumber: ASTM C33)

### **E. Air**

Air sangat diperlukan pada pembuatan beton. Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat, dan sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan.

Air berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena beton kelebihan air dapat menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Kelebihan air akan mengakibatkan beton mengalami *bleeding*, yaitu air akan naik ke permukaan beton segar yang sudah dituangkan, naiknya air bersama dengan butiran semen dan butiran pasir halus. Air dalam campuran



beton dapat berpengaruh terhadap sifat *workability* adukan beton, besar kecilnya nilai susut beton, kelangsungan reaksi dengan semen sehingga dihasilkan kekuatan selang beberapa waktu, dan peranan air sangat mendukung perawatan adukan beton diperlukan untuk menjamin pengerasan yang baik.

Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya terdapat logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan (SNI 2847:2013, 2013).

Menurut SNI 03-2847-2002, air yang dapat digunakan dalam proses pencampuran beton adalah sebagai berikut, yaitu :

1. Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
2. Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
3. Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali ketentuan berikut terpenuhi: a. Pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama; b. Hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji

mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

#### F. Metode Penolakan Data dengan *Chauvenet's Criterion*

*Chauvenet's criterion* adalah metode yang digunakan untuk menentukan pita probabilitas yang berpatokan pada nilai rata-rata distribusi normal. Setiap titik data dari N sampel yang berada diluar pita probabilitas dianggap sebagai data *outlier* atau data pencilan. Data pencilan tersebut dapat dihapus sehingga nilai rata-rata dan standar deviasi dihitung kembali tanpa data pencilan yang telah dihilangkan. Identifikasi *outlier* dicapai dengan menemukan jumlah standar deviasi yang sesuai dengan batas-batas pita probabilitas di sekitar nilai rata-rata ( $D_{max}$ ). Nilai simpangan maksimal yang diizinkan ( $D_{max}$ ) kemudian dibandingkan dengan nilai absolut dari perbedaan antara nilai yang diduga sebagai pencilan dan rata-rata dibagi dengan standar deviasi sampel yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$D_{max} \geq \left| \frac{\chi - \bar{x}}{S_x} \right| \quad (3)$$

Keterangan:

$D_{max}$  = Penyimpangan maksimal yang diizinkan

$|\cdot|$  = Nilai absolut

$\chi$  = Nilai dugaan pencilan

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata

$S_x$  = Standar deviasi sampel

Nilai  $D_{max}$  dapat ditentukan menggunakan tabel kriteria Chauvenet dan disesuaikan dengan N sampel. Jika N sampel tidak ada dalam tabel, maka dapat dilakukan interpolasi linier.

**Tabel 10.** Kriteria Chauvenet.

No.	Jumlah sampel (N)	$D_{max}$
1	3	1,383
2	4	1,534
3	5	1,645
4	6	1,732
5	7	1,803
6	8	1,863
7	9	1,915
8	10	1.960
9	20	2.241
10	30	2.394
12	40	2.498
13	50	2.576
14	100	2.807
15	500	3.291
16	1000	3.481

### ***G. Hammer test***

Metode pengujian ini mencakup penentuan angka pantul beton keras dengan menggunakan palu pantul yang digunakan oleh pegas. Metode ini dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan beton, untuk itu dibutuhkan korelasi antara kekuatan beton dan angka pantul. Hubungan ini harus ditetapkan dari campuran beton dan alat yang telah ditetapkan.

Hubungan beton dan angka pantul dibuat dari kekuatan beton yang biasa digunakan. Untuk memperkirakan kekuatan pada saat pembangunan, tetapkan hubungan dengan menampilkan angka pantul pada benda uji yang dicetak dan mengukur kekuatan dari benda uji yang sama atau serupa. Untuk memperkirakan kekuatan pada struktur yang ada, tetapkan hubungan antara angka pantul yang diukur pada struktur dengan kekuatan inti beton yang diambil dari lokasi yang bersangkutan (RSNI 4803).

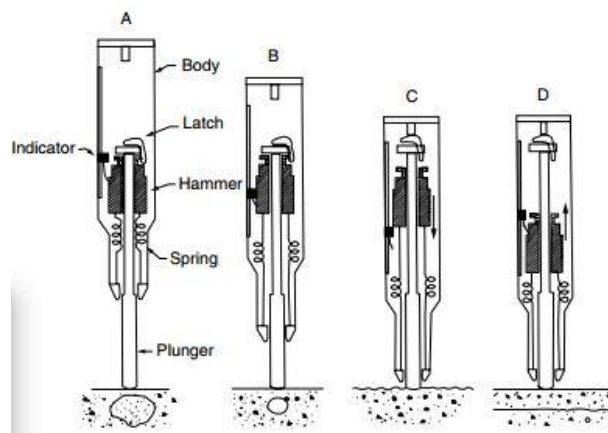
Menurut RSNI 4083-2002, alat yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut:

1. Palu Pantul, terdiri dari sebuah palu baja yang gerakannya dikendalikan oleh pegas, apabila dilepas akan memukul hulu palu yang terbuat dari baja yang kontak langsung pada permukaan beton. Palu baja harus bergerak dengan kecepatan konstan dan dapat dilakukan ulang. Jarak pantul antara palu baja dan hulu palu diukur dalam skala linier.
2. Batu penggosok, terbuat dari silika karbid atau bahan lain yang sejenis dengan tekstur butiran sedang.
3. Anvil penguji, silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 150 mm terbuat dari baja dengan kekerasan permukaan tumbukan sampai dengan  $66 \text{ HRC} \pm 2 \text{ HRC}$  diukur dengan metode uji ASTM E 18. Anvil memiliki alat pengarah agar palu pantul berada di tengah daerah tumbukan dan berfungsi menjaga alat tetap tegak lurus permukaan uji.
4. Verifikasi, palu pantul harus dirawat dan diverifikasi setiap tahun serta apabila pengoperasiannya diragukan. Verifikasi pengoperasian palu

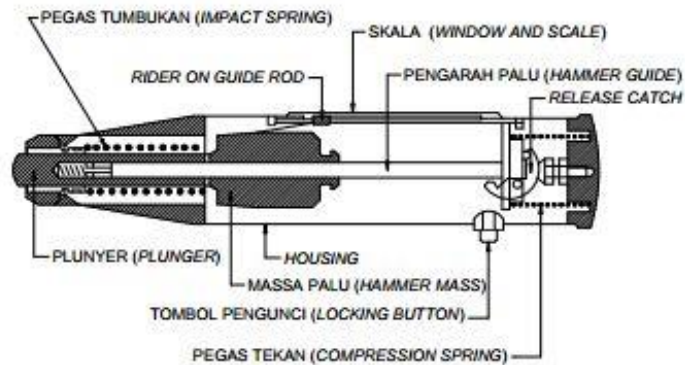
pantul dengan menggunakan anvil. Selama verifikasi, anvil diletakkan pada pelat atau lantai beton. Pabrik harus melaporkan angka pantul yang diperoleh dari pengoperasian alat yang benar ketika pengujian dilakukan pada anvil dengan kekerasan sesuai spesifikasi (RSNI 4803).

Menurut RSNI 4083-2002, cara perhitungan metode *hammer test* adalah sebagai berikut:

Hasil pembacaan yang berbeda lebih dari 6 satuan dari rata-rata 10 titik bacaan diabaikan dan tentukan nilai rata-rata dihitung dari pembacaan data yang memenuhi syarat. Bila lebih dari 2 titik bacaan memiliki perbedaan lebih dari 6 satuan dari nilai rata-rata, maka seluruh rangkaian pembacaan harus dibatalkan dan tentukan angka pantul pada 10 titik bacaan baru pada daerah pengujian.



**Gambar 1.** Sistematik Alat Palu Pantul Saat Pengujian *Hammer test*



**Gambar 2.** Struktur Bagian Palu Pantul

Sumber: RSNI 4083-2002

#### H. UPV test

Metode pengujian ini mencakup penentuan kecepatan rambat gelombang longitudinal melalui beton. Metode ini dapat digunakan untuk menilai atau mengetahui keseragaman mutu beton, mendeteksi adanya rongga / retak, dan untuk mengevaluasi efektivitas perbaikan retak. Metode ini dapat mengetahui adanya perubahan sifat-sifat beton, dan pada pemeriksaan suatu struktur, untuk memperkirakan tingkat kerusakan kerusakan atau retakan pada beton (ASTM C597).

Metode ini tidak dapat diterapkan untuk rambat gelombang jenis lain yang melalui beton. Rambatan gelombang longitudinal dipancarkan oleh transduser elektro akustik yang berhubungan dengan salah satu permukaan dari beton. Setelah melalui beton, rambatan gelombang diterima dan dikonversikan menjadi energi listrik oleh transduser kedua yang berjarak  $L$  dari transduser pemancar. Waktu tempuh  $T$  diukur secara elektronik.

Kecepatan rambatan gelombang  $V$  dihitung dengan membagi  $L$  dengan  $T$ . (ASTM C597).

$$v = L / T \quad (4)$$

Keterangan rumus:

- $v$  = Kecepatan gelombang longitudinal (km/detik atau m/detik)
- $L$  = Panjang lintasan beton yang dilewati (km , m)
- $T$  = Waktu tempuh gelombang longitudinal ultrasonik pada sepanjang lintasan  $L$  (detik)

Kalibrasi menggunakan Sebuah batang logam atau bahan lainnya yang waktu tempuh gelombang longitudinalnya telah diketahui. Waktu tempuh harus dicatat secara permanen pada batang kalibrasi. Dalam pelaksanaan di lapangan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, diantaranya adalah metode/konfigurasi pengukuran. Ada pun metode-metode yang dapat dilakukan dengan menggunakan *UPV test*, yaitu :

1. *Direct transmission*

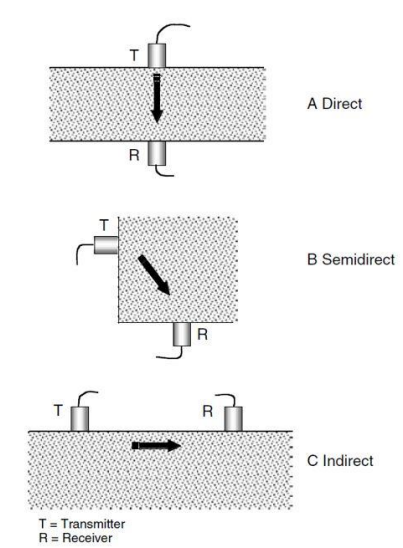
*Direct transmission* yaitu transmitter dan receiver diletakkan saling berhadapan, sehingga lintasan gelombang tegak lurus dengan permukaan transduser. Panjang lintasan didapat dengan mengukur jarak antar transduser yakni jarak antara 2 sisi beton yang diuji. Metode ini memberikan hasil paling memuaskan karena transmisi energi gelombang yang diperoleh adalah yang paling besar dibanding metode lainnya.

2. *Semi-direct transmission* (semi langsung)

yaitu kedua transduser dipasang pada dua sisi yang berbeda dan tidak saling berhadapan. Panjang lintasan didapat dengan mengukur jarak miring dari kedua transduser. Metode ini cukup memberikan hasil yang memuaskan dengan ketentuan jarak antara transmitter dan receiver tidak terlalu jauh.

3. *Indirect atau surface transmission* (tidak langsung)

yaitu pemasangan transmitter dan receiver pada sisi beton yang sama. Pada metode ini jarak antara kedua transduser perlu ditentukan terlebih dahulu seperti yang dikehendaki. Umumnya metode ini dipakai ketika hanya salah satu sisi beton yang dapat diakses. Namun hasil yang diperoleh kurang memuaskan karena amplitudo dari sinyal yang diterima lebih kecil daripada ketika pengujian menggunakan *direct method*.



**Gambar 3.** Konfigurasi Pengujian UPV. (A) *Direct Method*, (B) *Semi-direct Method*, dan (C) *Indirect Method*.



## I. *Compression test*

Menurut SNI 1974:2011 (2011), ketelitian mesin penguji harus sesuai dengan persyaratan berikut:

1. Persentasi kesalahan pembebanan untuk penggunaan mesin tekan tidak boleh melampaui  $\pm 1,0\%$  dari beban yang ditunjukkan dalam rentang yang digunakan
2. Ketepatan mesin harus dibuktikan dengan melakukan lima kali pembebanan uji dalam empat pertambahan beban yang hamper sama. Perbedaan antara dua pembebanan uji yang berurutan tidak boleh melampaui  $1/3$  dari perbedaan beban uji maksimum dan minimum
3. Beban uji yang ditunjukkan oleh mesin penguji dan beban yang diberikan dihitung dari pembacaan alat verifikasi harus dicatat pada tiap titik uji. Untuk menghitung kesalahan ( $E$ ) dan persentasi kesalahan ( $E_p$ ) untuk tiap titik data tersebut dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$E = A - B \quad (5)$$

$$E_p = 100 (A - B) / B \quad (6)$$

Keterangan:

$E$  adalah kesalahan, dinyatakan dengan kN

$E_p$  adalah persentasi kesalahan, dinyatakan dengan %

$A$  adalah beban, kN ditunjukkan oleh mesin yang diverifikasi

$B$  adalah beban yang digunakan, kN seperti yang ditunjukkan oleh alat kalibrasi.

4. Laporan vaifikasi mesin penguji harus memberikan persyaratan mengenai rentang beban berapa mesin tersebut memenuhi spesifikasi, bukan berupa laporan penerimaan atau penolakan. Rentang beban juga tidak boleh dinyatakan untuk hal-hal berikut ini:
  - a. Sebagai *including loads* yang nilainya lebih rendah dari 100 kali perubahan beban terkecil yang dapat diperkirakan pada mesin penguji atau.
  - b. Sebagai beban-beban yang berada dalam bagian rentang di bawah 10% dari kapasitas rentang maksimum.
5. Rentangan beban tidak diperbolehkan memakai beban yang berada di luar rentang beban yang diberikan selama pengujian verifikasi
6. Beban yang ditunjukkan mesin penguji tidak boleh dikoreksi baik dengan perhitungan atau dengan menggunakan diagram kalibrasi untuk mendapatkan nilai dalam variasi yang diizinkan sesuai dengan persyaratan.

Kuat tekan beton merupakan besar tegangan per satuan luas yang dapat ditahan oleh beton hingga hancur. Nilai kuat tekan beton diperoleh dari pengujian benda uji silinder berdiameter 3” dengan tinggi 20 cm dan berdiameter 6” dengan tinggi 30 cm pada usia 28 hari. Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan beton yaitu:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (7)$$

Keterangan :

$\sigma_c$  = Tegangan tekan beton, MPa

P = Gaya tekan, N

A = Luas penampang beton, mm<sup>2</sup>

#### **J. Penelitian Sebelumnya**

Wirotama dkk (tanpa tahun) melakukan penelitian untuk menentukan nilai korelasi dari hasil pengujian kuat tekan beton di laboratorium dengan menggunakan alat *compression strength machine* (*destructive test*) dan pengujian yang bersifat tidak merusak (*non-destructive test*) dengan menggunakan alat *hammer test* dan *UPV test*. Pengujian dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder dan kubus dengan perbedaan variasi mutu beton yaitu 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, dan 35 MPa. Hasil penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai koefisien determinasi dan persamaan regresi yaitu  $Y = a + bX_1 + cX_2$ , di mana a,b,c adalah konstanta, Y adalah nilai kuat tekan dari *compression test*, X1 adalah nilai kuat tekan dari *hammer test* dan X2 adalah nilai kuat tekan dari *UPV test*. Benda uji silinder dengan mutu beton gabungan didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar 71,9% dengan persamaan regresi yaitu  $Y = -80,142 + 0,340X_1 + 0,021X_2$ . Benda uji kubus dengan mutu beton gabungan didapatkan nilai koefisien determinasi sebesar 63,2% dengan persamaan regresi yaitu  $Y = -132,711 + 0,339X_1 + 0,33X_2$ . Nilai korelasi ini diharapkan dapat digunakan untuk menentukan nilai kuat tekan beton

jika *destructive test* tidak dapat dilakukan sehingga mampu meningkatkan penerapan metode NDT (*non-destructive test*) di Indonesia.

Anggreani dkk (2013) melakukan penelitian perbandingan kekuatan beton berdasarkan hasil *Ultrasonic pulse velocity test* dengan uji tekan. Penelitian ini merupakan uji coba awal metode tes UPV untuk memperkirakan kekuatan tekan beton yang dibuat dengan kondisi bahan di Indonesia; kemudian hasilnya dibandingkan dengan tes uji kekuatan tekan beton tersebut. Sampel menggunakan 10 buah silinder beton  $f_c'$  16 MPa (setara K 200). Tes UPV menggunakan metode langsung, perkiraan kekuatan beton dihitung dengan formula hasil penelitian terdahulu di negara lain. Hasil penelitian, (1) formula Mahure dkk untuk mutu beton M20 (20 N/mm<sup>2</sup>), memberi hasil perkiraan rerata kekuatan beton yang 8% lebih besar dari rerata kekuatan tekan aktual beton yang dibuat dengan mutu karakteristik beton yang mendekati M20; (2) perkiraan kekuatan beton berdasarkan tes UPV yang diturunkan dari mutu beton yang sesuai dengan target mutu beton yang diselidiki, memberi hasil paling mendekati hasil tes kekuatan tekan beton tersebut, (3) formula yang diturunkan berdasarkan komposisi campuran bahan pembuat beton, tanpa mengetahui kekuatan tekan aktual yang dihasilkan dari campuran itu, tidak selalu dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan beton yang dibuat dari campuran bahan yang sama, dengan hasil memuaskan.